



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Laboratório de Sensoriamento e Análises Espaciais

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL**

**DETECÇÃO DE PONTES EM IMAGENS SAR COM BASE NA
ANÁLISE DAS POLARIZAÇÕES DA BANDA L**

MÁRIO CELSO TEIXEIRA LOPES

Orientador: Prof. Dr. Edson Eyji Sano
Coorientador : Edinelson Sena - MsC

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA

2012



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Laboratório de Sensoriamento e Análises Espaciais

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL**

**DETECÇÃO DE PONTES EM IMAGENS SAR COM BASE NA
ANÁLISE DAS POLARIZAÇÕES DA BANDA L**

MÁRIO CELSO TEIXEIRA LOPES

Orientador: Prof. Dr. Edson Eyji Sano
Coorientador : Edinelson Sena - MsC

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA

2012



1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

As técnicas de Sensoriamento Remoto no Brasil sofreram um grande impulso na última década, principalmente, com o advento do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM) que trouxe ao país a realidade de utilizar o Radar de Abertura Sintética na identificação de alvos passivos. Esta ferramenta se mostrou uma alternativa positiva, principalmente por apresentar independência das condições de iluminação solar e por proporcionar a obtenção de imagens sob as mais variadas condições meteorológicas, sendo pouco influenciada pela presença de nuvens ou neblina.

As aplicações deste tipo de sensor continuam em desenvolvimento, buscando a determinação de métodos mais adequados para o seu uso, de maneira a atender as necessidades específicas para diferentes aplicações, em particular, aquelas construídas pelo homem.

Esse sensor tem aplicação, entre outras, em controle de desmatamento, estimativa da biomassa e identificação de feições do terreno, sendo empregado no projeto Cartografia da Amazônia, para imageamento das áreas de não floresta, a fim de contribuir para a diminuição dos vazios cartográficos da região amazônica, o que vem a ser a base para dar suporte a projetos de infra-estrutura a serem implantados na região (rodovias, ferrovias, gasodutos e hidrelétricas), geração de informações estratégicas para monitoramento regional, de defesa nacional, geológicas, náuticas, demarcação de áreas para assentamentos, áreas de mineração, agronegócio, elaboração de zoneamento ecológico, econômico e ordenamento territorial, segurança territorial, escoamento de produção e desenvolvimento regional (www.sipam.gov.br)

A escolha de pontes para este estudo foi porque há características mais controladas nesses objetos (elementos geométricos e de classificação), que possibilitam o entendimento acurado das interações do sinal de micro-ondas com o alvo investigado, isolando com maior facilidade os parâmetros que possuam maior correlação com a resposta do radar.



Sabe-se que elas são vitais para o transporte de produtos agrícolas, industriais, matéria prima, para o lazer ou como forma de evasão, em caso de catástrofe. Estudá-las com esse sensor se torna uma maneira de controlar quantidades e posicionamento das pontes em território nacional, a fim de proporcionar às autoridades civis, mais uma oportunidade de gerenciar as vias de acesso de uma cidade.

Busca-se, com este trabalho, analisar a possibilidade de identificar pontes, considerando a variação de forma e textura, a partir de imagens SAR de polarização paralela e cruzada, geradas pelo radar de abertura sintética do SIPAM.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicabilidade dos dados polarimétricos do radar imageador aerotransportado do SIPAM, operando na banda L, em áreas de não floresta, a fim de obter um modelo de relacionamento entre as características físicas das pontes com a resposta do sensor radar.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, este trabalho buscou alcançar os seguintes objetivos específicos:

- (a) levantar os parâmetros para a interpretação de pontes em imagens SAR;
- (b) estudar o retroespalhamento de sinal das pontes na faixa das micro-ondas, e;
- (c) identificar a polarização mais adequada para a identificação de pontes a partir de imagens geradas pelo radar de abertura sintética SAR R-99.

1.3 Descrição da área de estudo

1.3.1 Localização

A Figura 1 mostra a área de estudo que se localiza na cidade de Brasília, Distrito Federal, onde são analisadas cinco pontes. A primeira é a Ponte Juscelino Kubitschek, cujas coordenadas das cabeceiras são 15° 49' 09"S 047° 49' 57"W e 15° 49' 43"S 047° 49' 38"W. A segunda é a Ponte Presidente Costa e Silva, com



cabeceiras de coordenadas $15^{\circ} 49' 16''\text{S}$ $047^{\circ} 52' 43''\text{W}$ e $15^{\circ} 49' 29''\text{S}$ $047^{\circ} 52' 36''\text{W}$. A terceira é a Ponte das Garças, com cabeceiras de coordenadas $15^{\circ} 50' 18''\text{S}$ $047^{\circ} 53' 55''\text{W}$ e $15^{\circ} 50' 27''\text{S}$ $047^{\circ} 53' 52''\text{W}$. A quarta é a Ponte do Bragueto, cujas coordenadas das cabeceiras são $15^{\circ} 43' 47''\text{S}$ $047^{\circ} 53' 40''\text{W}$ e $15^{\circ} 43' 53''\text{S}$ $047^{\circ} 53' 38''\text{W}$. A quinta e última é a Ponte da Estrada Parque Aeroporto, cujas coordenadas das cabeceiras da pista central são $15^{\circ} 50' 43,8''\text{S}$ $047^{\circ} 57' 14,4''\text{W}$ e $15^{\circ} 50' 45''\text{S}$ $047^{\circ} 57' 14,5''\text{W}$.

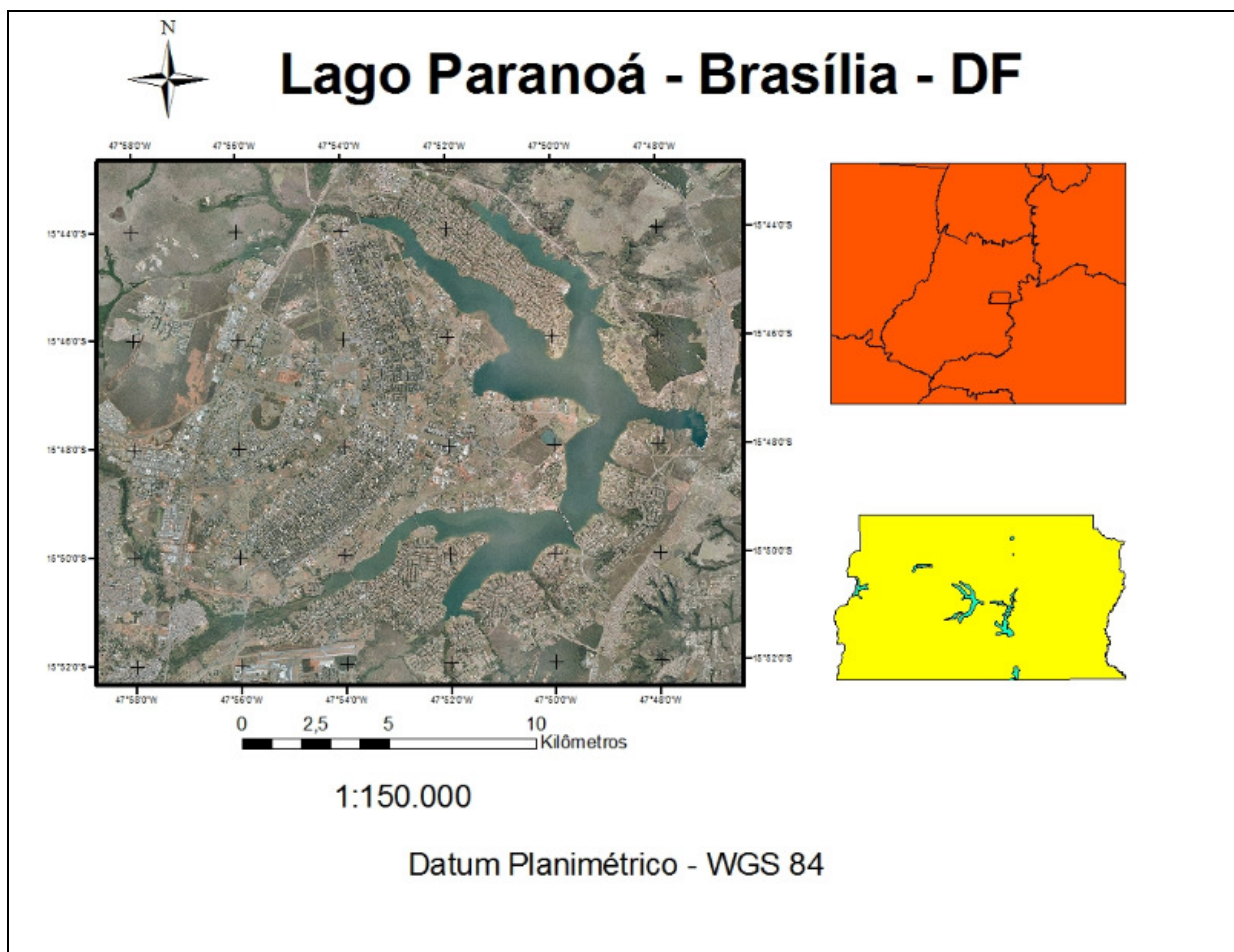


Figura 1 – Área de estudo - Lago Paranoá, onde estão localizadas as cinco pontes estudadas neste trabalho.

1.3.2 Hidrografia

Segundo Novaes Pinto (1994, apud MARTINS, 2000) o DF está localizado na porção nuclear do cerrado, sendo a única região na América do Sul que apresenta, em conjunto, rios pertencentes às bacias são franciscana, platina e do Tocantins, portanto, de fundamental importância ecológica e econômica. A figura 2 mostra as bacias hidrográficas do DF.

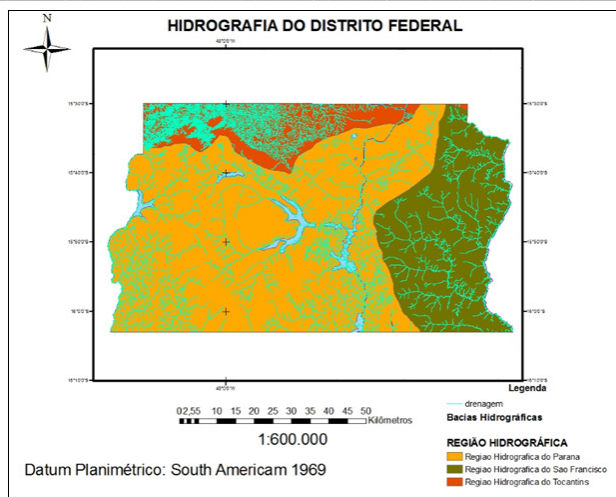


Figura 2 – Hidrografia do Distrito Federal.

1.3.3 Geomorfologia do terreno

O relevo do Distrito Federal é marcado por um planalto de topografia com suaves ondulações, conforme observado na Figura 3, apresentando áreas planas e elevadas, chapadas, escarpas e colinas arredondadas.

A altitude média é de 1100m, variando de 750m a 1349m no seu ponto mais elevado, localizado a noroeste na chapada da Vendinha.



Figura 3 – Cerrado nativo. Fonte - www.correiobraziliense.com.br

1.3.4 Clima

Segundo Martins (2000) o clima do Distrito Federal é, de acordo com a classificação de Köppen, enquadrado entre “tropical de savana” e “temperado chuvoso de inverno seco”, com duas estações bem distintas, sendo uma chuvosa,



que vai de outubro a abril, e uma seca, que vai de maio a setembro. Apresenta temperatura média inferior: 18°C, no mês mais frio, e média superior: 22°C, no mês mais quente. De acordo com a classificação climática de Thornthwait, o clima do Distrito Federal é “tropical de altitude” (Cwb) nas chapadas mais elevadas, “tropical de altitude” (Cwa) no Pediplano de Brasília e tropical (Aw) nas principais bacias hidrográficas da região.

1.3.5 Economia

A atividade econômica mais importante da cidade é a administração pública, porém o setor privado está suplantando o setor público e mudando este perfil, com o crescimento do setor de serviços e o crescimento de um parque industrial implantado através de incentivos fiscais.

No primeiro semestre de 2011 a arrecadação de tributos foi de 4,8 bilhões de reais. Deste total, as maiores contribuições foram do ICMS, 50,6%; IPVA, 10,3%; ISS, 9,3% e IPTU, 4,3% (www.fazenda.df.gov.br).

1.4 Importância das pontes sobre o lago Paranoá

A Ponte Juscelino Kubitschek, também conhecida como Ponte JK, assim como a Ponte Costa e Silva, inaugurada em 1976, e a Ponte das Garças, que é a mais antiga dentre estas três, foi concebida para ligar o Lago Sul à parte central de Brasília (DANTAS, 2011).

A Ponte do Bragueto é uma ponte rodoviária sobre o Lago Paranoá. Liga a Asa Norte ao Lago Norte e à região norte do Distrito Federal, como Planaltina e Sobradinho. A ponte marca o extremo norte do Eixo Rodoviário de Brasília. É a única ponte sobre a parcela norte do lago Paranoá, sendo que há três pontes no lado sul e uma no extremo oeste.

A ponte localizada na Estrada parque Aeroporto, localizada a 480m ao sul da DF-002, transpõe um córrego que deságua no Lago Paranoá e liga a DF-002 ao Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek.



2 PONTES

2.1 Definição

Chama-se ponte a uma obra destinada a manter a continuidade de uma via de comunicação qualquer, através de um obstáculo, com a característica de não interromper totalmente este obstáculo que pode ser natural como um rio, um lago, um trecho de mar ou uma depressão do terreno, ou artificial, outra via de comunicação ou canal ou lago, construídos com uma determinada finalidade (FREITAS, 1981).

Por não interromper inteiramente o obstáculo transposto, a ponte difere dos aterros, também executados com a finalidade de conservar a continuidade da via de comunicação, porém vedando totalmente a secção de travessia. Se o obstáculo não é constituído por água ou esta é pouco significativa, constituindo pequena parcela do obstáculo, a obra recebe a designação de viaduto (PFEIL, 1983).

2.2 Elementos constituintes de uma ponte

Segundo Freitas (1981), os elementos constituintes de uma ponte dividem-se em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, apresentados na Figura 4.

2.2.1 Superestrutura

É constituída pelos elementos destinados a vencer o obstáculo a transpor e receber as cargas dos veículos e outras cargas que transitam sobre a ponte. Divide-se em estrutura principal e estrutura secundária. A estrutura principal é constituída pelas vigas principais, que são peças longitudinais. A estrutura secundária é representada pelos elementos que recebem diretamente a ação das cargas que circulam sobre a ponte, transmitindo-a aos elementos da estrutura principal. É constituída por lajes (passadiço), transversinas e cortinas.

2.2.2 Mesoestrutura

São dispositivos colocados entre a superestrutura e a infraestrutura, com a finalidade de concentrar as regiões de apoio em regiões bem delimitadas da estrutura.



2.2.3 Infraestrutura

A infraestrutura é constituída pelos elementos que, recebendo as cargas da superestrutura, através da mesoestrutura, transmitem-nas ao terreno da fundação. É formada pelos suportes e fundações. Os suportes são as peças situadas imediatamente abaixo da mesoestrutura. Subdividem-se em pilares e encontros. Os pilares são suportes situados em posição intermediária na ponte e os encontros são suportes situados nas extremidades da ponte. As fundações são as peças estruturais em contato com o terreno, ao qual devem transmitir todas as cargas provenientes da ponte.

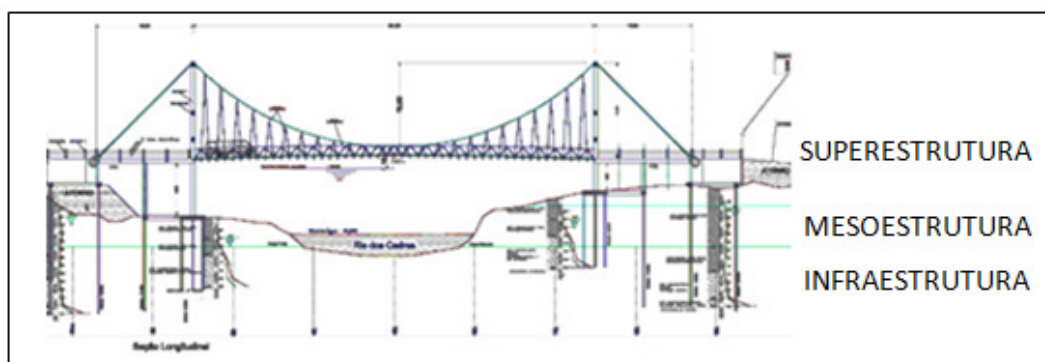


Figura 4- Elementos constituintes de uma ponte. Adaptado de timbo.sc.gov.br

2.3 Elementos geométricos de uma ponte

Segundo Freitas (1981), os elementos geométricos de uma ponte dividem-se em horizontais e verticais, sendo que os horizontais subdividem-se em longitudinais e transversais e os verticais em altura de construção e altura livre.

2.3.1 Elementos geométricos horizontais longitudinais

2.3.1.1 Vão total

É, por definição, a distância medida horizontalmente segundo o eixo, entre as duas secções extremas da ponte. É também chamado comprimento da ponte (Figura 5).

2.3.1.2 Vão parcial



É também denominado vão teórico ou tramo. É representado pela distância entre o centro de dois apoios consecutivos da superestrutura.

2.3.1.3 Vão livre

É a distância entre as faces que se correspondem de dois suportes consecutivos da ponte. Pode ser constante ou variável.

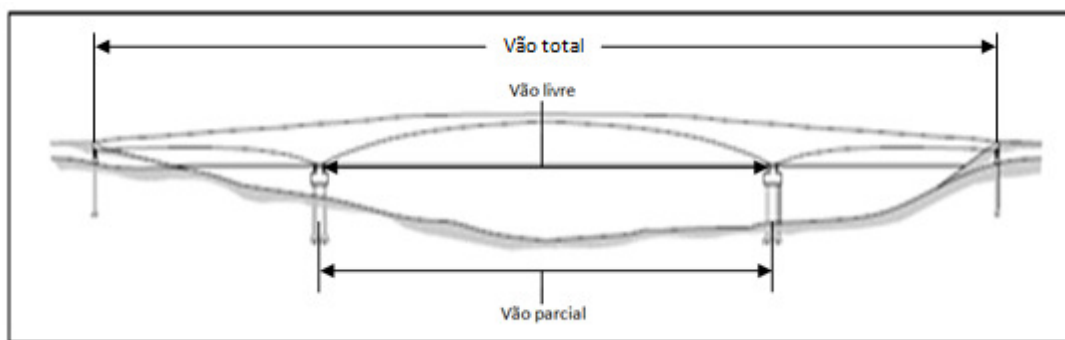


Figura 5- Elementos geométricos horizontais longitudinais. Adaptado de Fonseca, 2007.

2.3.2 Elementos geométricos horizontais transversais

2.3.2.1 Pista de rolamento

É a largura do passadiço disponível para o tráfego normal dos veículos que utilizam a ponte. Geralmente é subdividida em faixas de tráfego com larguras em geral de 3,5 a 4m.

2.3.2.2 Acostamento

São Larguras adicionais à pista de rolamento, dispostas lateralmente e destinadas à utilização pelos veículos em casos de emergência. A largura utilizada nos acostamentos é variável de 2,5 a 3m.

2.3.2.3 Defensas

São elementos de proteção aos veículos, colocados ao longo do passadiço, lateralmente ao acostamento ou à própria pista de rolamento quando não há acostamento.

2.3.2.4 Passeios

São faixas laterais no passadiço, destinadas exclusivamente ao tráfego de pedestres sobre a ponte. São necessários em pontes localizadas em zonas urbanas



e normalmente dispensáveis nas obras rurais. Normalmente estão em nível mais elevado que a pista de rolamento a fim de evitar invasão pelos veículos.

Estes elementos são apresentados na Figura 6.

2.3.2.5 Guardacorpo

São elementos de proteção aos pedestres que transitam sobre a ponte. São colocados lateralmente ao passeio.



Figura 6- Elementos geométricos horizontais transversais da ponte D. Pedro II, em Recife: 1, Pista de rolamento, 2 – Defensas, 3 – Passeio, 4 – Guardacorpo. Fonte – www.fotolog.com

2.3.3 Elementos geométricos verticais

2.3.3.1 Altura de construção

É a distância, em uma dada secção transversal da ponte, entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da superestrutura nessa secção.

2.3.3.2 Altura livre

É a distância, em uma dada secção transversal da ponte, entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo transposto pela obra, também denominado gabarito.



Figura 7- Elementos geométricos horizontais transversais da ponte do Bragueto, em Brasília: 1, altura da construção e 2 – altura livre.

2.4 Classificação de pontes

A classificação de pontes pode obedecer a vários critérios (Mason, 1977). Segundo Freitas (1981) as pontes podem ser classificadas conforme os elementos descritos a seguir.

2.4.1 Quanto ao seu comprimento

Considerando o vão total, as pontes classificam-se em: bueiros: de 2 a 3m; pontilhões: de 3 a 10m; e pontes propriamente ditas: acima de 10m.

2.4.2 Quanto à duração

Considerando o tempo que uma ponte permanece em serviço, ou seja, o tempo de vida útil da obra, as pontes podem ser classificadas em: provisórias, quando se destinam a serem utilizadas enquanto se constroem as obras definitivas correspondentes, e definitivas, quando são as construídas em caráter permanente, no local previamente determinado para a sua implantação.

2.4.3 Quanto à natureza do tráfego

De acordo com a natureza do tráfego que atendem as pontes são classificadas como: pontes rodoviárias, ferroviárias, para pedestres (passarelas) pontes-canal, aquedutos, aeroviárias e mistas.

Nos três primeiros casos acima elencados, o tipo de tráfego é evidente pela própria designação. As pontes-canal destinam-se a permitir que um canal,



normalmente navegável, transponha um determinado obstáculo e os aquedutos são obras destinadas a permitir a passagem de ductos sobre obstáculos.

Pontes aeroviárias são aquelas destinadas ao trânsito de aeronaves nas pistas de táxi nos aeródromos, sobre obstáculos diversos, normalmente vias de comunicação que servem os referidos aeroportos.

Pontes mistas são aquelas que se destinam a mais de um tipo de via de comunicação, como por exemplo, as pontes rodo-ferroviárias.

2.4.4 Quanto ao material da superestrutura

Considerando o material utilizado na construção da superestrutura, as pontes podem ser de: madeira, alvenaria, concreto simples, concreto armado, concreto protendido, aço e mistas.

As pontes em madeira, alvenaria e concreto simples estão em desuso. O emprego de madeira atualmente está restrito à construção de pontes provisórias.

2.4.5 Quanto ao desenvolvimento planimétrico

Com relação ao desenvolvimento em planta do seu eixo as pontes podem ser classificadas como retas e curvas. As pontes curvas podem incluir trechos retos.

2.4.6 Quanto ao desenvolvimento altimétrico

De acordo com a projeção do eixo da ponte em um plano vertical longitudinal, as pontes podem ser classificadas em retas e curvas. As pontes retas apresentam eixo com projeção retilínea em um plano vertical longitudinal. Podem ser horizontais, quando a projeção está em nível e em rampa quando a projeção do eixo é inclinada.

As pontes curvas apresentam eixo com projeção curva em plano vertical longitudinal.

2.4.7 Quanto ao tipo estático da superestrutura

Considerando o tipo estático da superestrutura as pontes podem ser isostáticas, ou seja, a estrutura pode ser analisada com o emprego exclusivo das equações de equilíbrio da estática, ou hiperestáticas, onde a estrutura não pode ser analisada com o emprego único das equações de equilíbrio da estática, sendo necessárias equações suplementares. A classificação deste parâmetro não é aplicável por meio de interpretação de imagens.



2.4.8 Quanto ao sistema estrutural da superestrutura

Tendo em vista a natureza do sistema estrutural da superestrutura, temos os seguintes tipos de pontes: de vigas, em pórticos, em arco e de cabos, também denominadas suspensas (pênseis ou atirantadas).

As mais frequentes são as pontes de vigas (Figura 8). As pontes em pórtico têm sua estrutura principal em forma de pórticos (Figura 9). As pontes em arco têm sua estrutura principal em forma de arco (Figura 10).

As pontes de cabos são aquelas nas quais a estrutura principal da superestrutura é dotada de cabos de aço. No caso das pontes pênseis, esses cabos são curvos e representam a parte estrutural principal da obra (Figura 11). A esse cabo são ligados os demais elementos da superestrutura por meio de tirantes de aço, geralmente dispostos verticalmente.

As pontes atirantadas, impropriamente chamadas de pontes estaiadas, da corruptela da designação em inglês *stayed-bridges* (ponte escorada), estão entre as obras mais modernas e de tecnologia mais avançada.



Figura 8 – Ponte de vigas - Ponte Presidente Costa e Silva, conhecida como Ponte Rio-Niterói. Fonte - www.riofilmcommission.rj.gov.br.

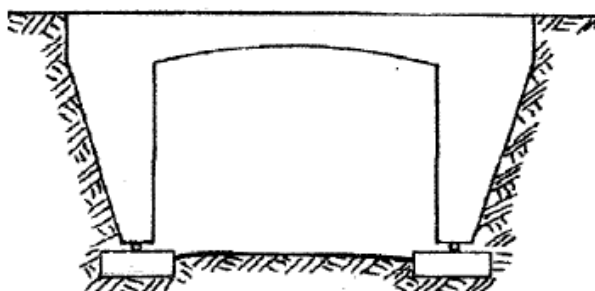


Figura 9 – Ponte em pórtico simples. (FREITAS, 1978)



Figura 10 - Ponte em arco - Fonte lqes.iqm.unicamp.br



Figura 11 – Ponte de cabos - Ponte pênsil ligando São Vicente a Praia Grande, São Vicente - SP. Fonte - www.saovicente.sp.gov.br.

2.4.9 Quanto à posição do tabuleiro

Conforme a posição do tabuleiro em relação à estrutura principal da ponte, esta pode ser classificada como sendo de tabuleiro: superior, intermediário e inferior.

2.4.10 Quanto à mobilidade do tramo

Considerando a mobilidade de seus tramos podem ser classificadas como pontes fixas ou móveis. As pontes fixas são as mais frequentes e não apresentam qualquer tramo móvel.

As pontes móveis podem ser: giratórias, basculantes, elevadiças, corrediças, oscilantes e flutuantes.



2.4.11 Quanto ao tipo construtivo da ponte

Com base no processo de construção da superestrutura as pontes podem ter a seguinte classificação: executadas “in loco”, em elementos pré-moldados, em balanços sucessivos, em aduelas ou segmentos, em balanço progressivo e com formas deslocáveis.

As pontes executadas “in loco” são construídas totalmente no local de sua implantação, já as pontes em elementos pré-moldados utilizam em sua construção vigas pré-moldadas construídas em local distinto da obra. Nas pontes em balanço sucessivo a superestrutura é executada a partir do pilar e para cada um dos lados do mesmo, concretando-se simultaneamente trechos em balanço. O processo de execução das pontes em aduelas apresenta as mesmas características das pontes em balanços sucessivos, diferindo apenas pelo emprego de trechos pré-moldados, que são denominados aduelas ou segmentos. O processo de construção das pontes em balanço progressivo difere dos anteriores por apresentar avanço da superestrutura em um único sentido, a partir do pilar. O processo de construção das pontes com formas deslocáveis difere daquele utilizado nas pontes em balanço progressivo pela execução do tramo todo, de cada vez, no sentido da progressão de construção da ponte. Neste processo são utilizadas grandes formas que são deslocadas à medida que a obra avança, sendo um processo prático para pontes de grande extensão.

A classificação de uma ponte quanto a este parâmetro, tal como a duração, é possível se o imageamento ocorrer durante a construção e com resolução temporal que abranja diferentes momentos de construção da superestrutura. Não será considerado neste estudo por não apresentar significância para a interpretação com fins cartográficos.

2.4.12 Quanto ao tipo da secção transversal

As pontes podem ser de secção aberta, quando não apresentam laje inferior; fechada (ou célula), se possui laje inferior; e mista, quando apresenta parte com laje inferior e parte sem laje inferior.



3 RADAR IMAGEADOR

O termo RADAR consiste no acrônimo do inglês **RA**dio **D**etection **A**nd **R**ange (detecção e localização por meio de ondas de rádio).

Segundo Novo (1999), os componentes básicos de um sistema radar são: antena transmissora / receptora, receptor, detector e registrador. Assim, um sistema de radar transmite sinais de micro-ondas em direção a uma cena, recebe parte da energia transmitida que é retroespalhada e registra a intensidade (detecção) e a defasagem (indicação da distância) dos sinais de retorno.

O radar possui fonte de energia própria (fonte artificial de radiação eletromagnética), portanto, não depende da iluminação solar, podendo operar a qualquer hora do dia. Por isso é conhecido como um sistema ativo de sensoriamento remoto.

Os produtos gerados pelos sensores radar não substituem aqueles gerados pelos sensores que operam na faixa do visível ou termal, antes, estes tipos de imagens complementam-se, já que as interações com o alvo diferem, sendo explicadas pelo modelo corpuscular para as radiações do comprimento de onda do visível e do infravermelho, onde ocorre interação microscópica, e pelo modelo ondulatório, para a região das micro-ondas, onde a interação é do tipo macroscópica, dependente não da natureza da matéria, mas do comprimento de onda e da variação textural e estrutural do alvo (MENESES et al., 2012).

3.1 Onda eletromagnética

Uma onda eletromagnética é, por natureza, um vetor composto pelos campos elétrico e magnético que são capazes de se propagar tanto no espaço livre, como no interior de um meio material. Todas as ondas eletromagnéticas propagam-se à velocidade da luz. Os campos elétrico e magnético da onda podem ser representados, conforme visto na Figura 12, por uma função senoidal: campos oscilantes e perpendiculares entre si (MENESES et al., 2012).

As ondas eletromagnéticas são caracterizadas pela polarização e pela frequência (f) ou comprimento de onda (λ).



A frequência é considerada um atributo mais fundamental da Radiação Eletromagnética (REM). A velocidade e o λ da REM mudam ao trafegar em meios distintos, enquanto a f permanece constante.

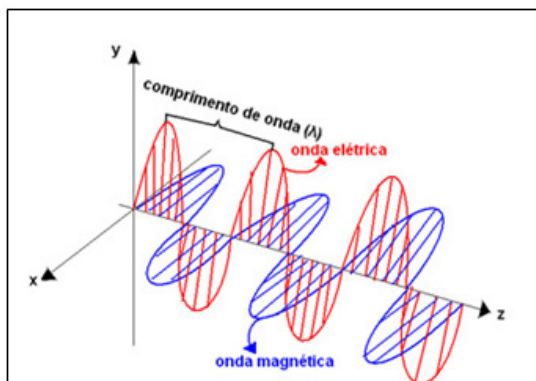


Figura 12 – Onda eletromagnética. Fonte www.brasilecola.com

A região do espectro eletromagnético, apresentada na Figura 13, conhecida como região das micro-ondas se situa entre os comprimentos de onda de 2,4cm a 1 m, que correspondem às frequências de 12,5 GHz a 300 MHz (Meneses et al., 2012). O sensoriamento remoto nesta faixa do espectro tem sido utilizado, em complemento ao sensoriamento óptico, basicamente pelas seguintes razões:

1 - As micro-ondas são capazes, em determinadas bandas, de penetrar a atmosfera em diversas condições climáticas, eliminando as restrições impostas por cobertura de nuvens, chuva e neblina.

2 - As micro-ondas são capazes, em certas condições, de penetrar em alguns tipos de alvos, fornecendo informação que não se poderia obter através do sensoriamento na região visível e infravermelho do espectro eletromagnético.

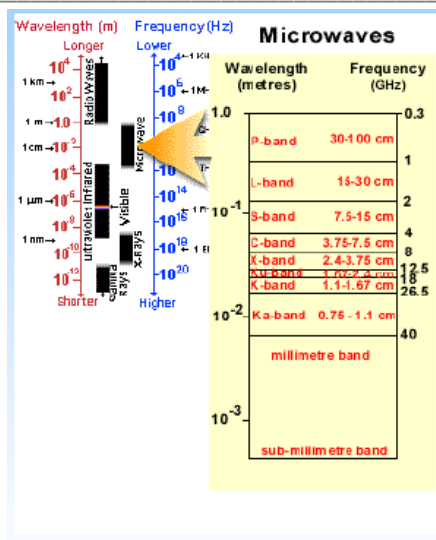


Figura 13 – Localização das micro-ondas no espectro eletromagnético. Fonte – www.nrcan.gc.ca

A maioria dos radares de sensoriamento remoto funciona em comprimentos de onda (λ) entre 30 cm e 75 cm. As bandas nestas faixas do espectro eletromagnético são identificadas por letras. As bandas mais frequentemente utilizadas por radares imageadores estão apresentadas na tabela 1:

Tabela 1 – intervalos de comprimentos de onda das bandas na faixa das micro-ondas.

Banda	λ mínimo	λ máximo
X	2,4 cm	3,8 cm
C	3,8 cm	7,5 cm
S	7,5 cm	15 cm
L	15 cm	30 cm
P	30 cm	100 cm

3.2 Polarização

Polarização refere-se às orientações dos campos elétrico e magnético da onda. A antena de um sistema de radar pode ser configurada para transmitir e receber a radiação eletromagnética polarizada horizontal ou verticalmente (Figura 14). O campo elétrico é que define se a polarização será vertical ou horizontal.

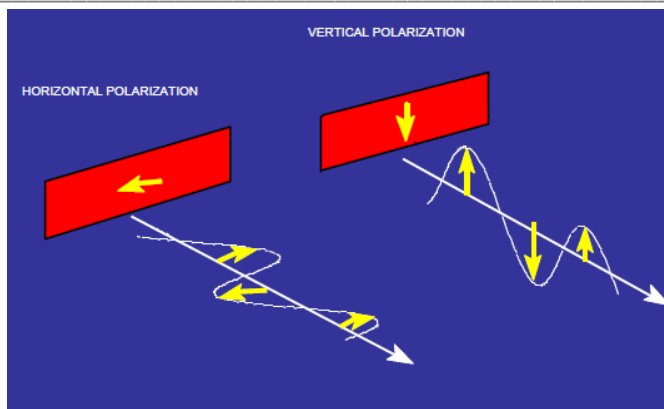


Figura 14 – Polarização de uma onda eletromagnética. Fonte www.nrcan.gc.ca

A polarização é definida como paralela quando as energias, transmitida e recebida, são polarizadas na mesma direção, HH ou VV e é definida como cruzada quando as energias, transmitida e recebida, são perpendiculares, HV ou VH. Quando a onda de radar incide em uma superfície e é refletida, a polarização pode ser modificada. O conjunto de quatro imagens representa a matriz de espalhamento [S], para cada pixel. A partir desta matriz podem ser estimados parâmetros para classificação dos alvos (VILLAÇA; FERNANDES, 2008).

3.3 Definições

3.3.1 Azimute

É a direção de voo da plataforma, chamada de direção azimutal. Ao longo da área iluminada no terreno pelo feixe radar, a parte mais próxima ao Nadir denomina-se de *near range* (alcance próximo) e a área mais distante é denominada de *far range* (alcance distante).

3.3.2 Direção de visada (alcance ou *range*)

Conforme apresentado na Figura 15, é a direção de iluminação do feixe do radar. O melhor imageamento radar e o melhor contraste dos alvos são obtidos com o feixe radar emitido perpendicularmente a direção do voo.

3.3.3 Ângulo de Incidência

Refere-se ao ângulo entre a direção de iluminação do radar e a normal à superfície do solo. O ângulo de incidência varia do *near range* para o *far range*.



3.3.4 Ângulo de Incidência Local

O termo ângulo de incidência local leva em consideração o declive local do terreno em qualquer ponto da imagem e determina parcialmente o brilho ou a tonalidade de cada pixel.

3.3.5 Ângulo de depressão

É o ângulo formado entre a linha de horizonte de voo e a linha que define a direção de visada (*slant range*). Varia do *near range* para o *far range*.

3.3.6 Ângulo de visada (Φ)

É o complemento do ângulo de depressão, formado pela linha de visada e a vertical projetada a partir da antena, conforme exibido na Figura 16.

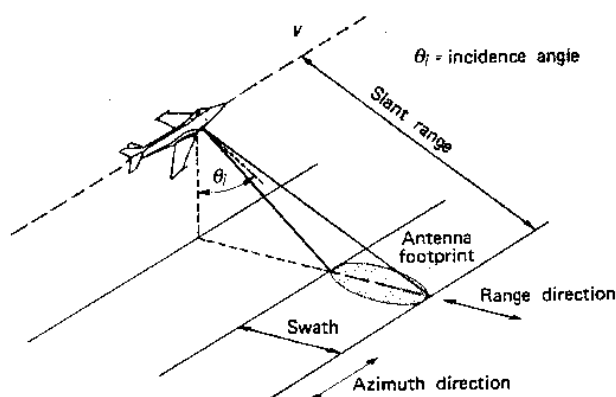


Figura 15 – Elementos da geometria de imageamento radar. Fonte - Fonte – www.fao.org

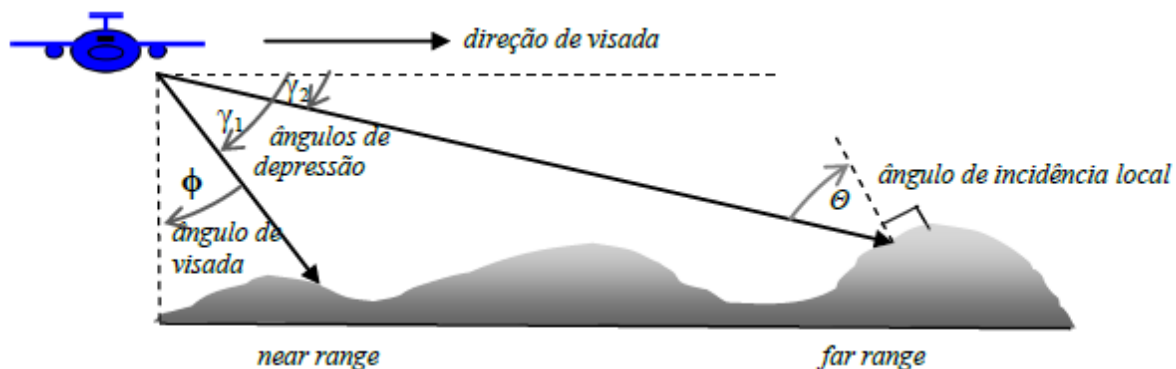


Figura 16 – Ângulos de depressão, visada e incidência local. Fonte - (MENESES et al., 2012).



Os sistemas de imageamento por radar possuem visada lateral em função da possibilidade de ocorrência ambiguidade de sinais mostrada na Figura 17.

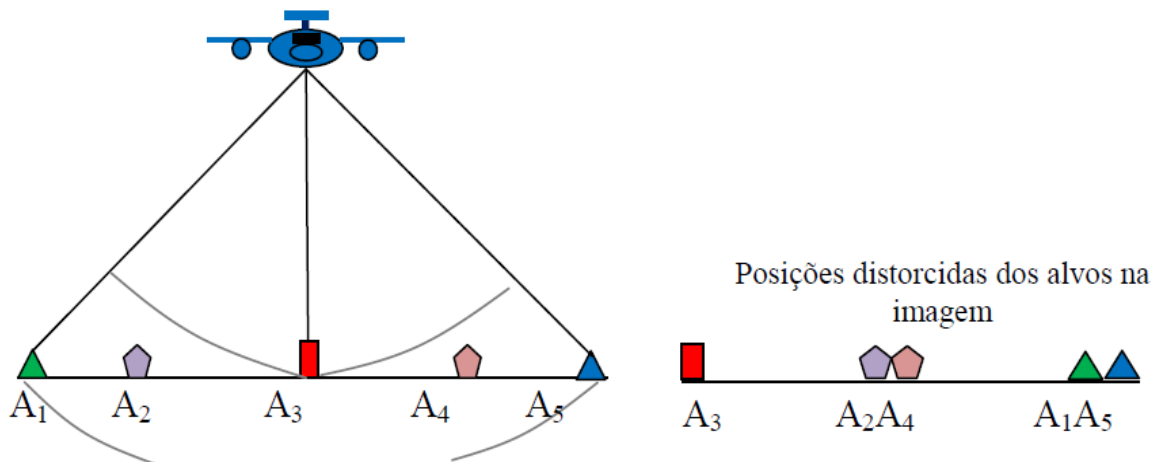


Figura 17– Ambiguidade de sinais. Fonte (MENESES et al., 2012).

3.4 Radar de Abertura Real - (RAR)

Esse sistema é o mais simples e nele a resolução espacial é determinada pela duração do pulso e pela dimensão da antena (NOVO, 1999).

A resolução espacial na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma (*range resolution*) é dada pela equação:

$$R = \frac{c \cdot t}{2 \cdot \cos Y}$$

Onde:

R = *range resolution*

c = velocidade da luz

t = duração do pulso

Y = ângulo de depressão da antena

Sua resolução em azimuth (ao longo da direção de deslocamento da plataforma), também denominada resolução azimuthal ou resolução angular, varia ao longo da direção perpendicular da linha de voo, em função da distância entre a superfície imageada e o sensor, variando também em função da largura do feixe



emitido, que por sua vez varia em função da dimensão da antena. A resolução azimutal (A) pode ser calculada por meio da equação:

$$Raz = \frac{S \times \lambda}{L}$$

Onde:

S = distância da antena ao ponto no terreno no alcance inclinado

L = tamanho da antena

Com base no acima exposto, conclui-se que, para se obter uma melhor resolução azimutal ou diminui-se a distância entre o radar e o alvo, ou aumenta-se o comprimento da antena.

3.5 Radar de abertura sintética - (SAR)

Trata-se de um sistema que, através de modificações nos registros dos dados e processamento dos sinais, cria uma antena virtual muito maior que o seu tamanho físico (Figura 18), através do deslocamento de uma pequena antena ao longo da direção de voo da plataforma. As posições sucessivas da antena são tratadas eletronicamente como se fossem elementos de uma única antena grande (MENESES et al., 2012).

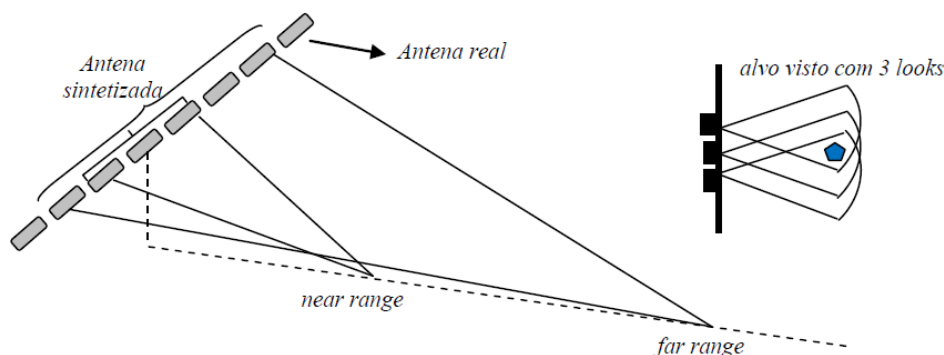


Figura 18 - deslocamento da antena ao longo da direção de voo em um radar de abertura sintética. Fonte – (MENESES et al., 2012).



3.6 Elementos que influenciam na aquisição da imagem

3.6.1 Comprimento da onda

De um modo geral, quanto maior o comprimento da onda, maior a penetração na vegetação. Desta forma, a banda P é a que apresenta a possibilidade de fornecer informação do solo subjacente à vegetação densa (MENESES et al., 2012).

3.6.2 Umidade

A Figura 19 é uma ilustração de como a penetração da onda é inversamente proporcional ao conteúdo de água. Uma superfície de solo úmido resulta num espalhamento mais forte que a mesma superfície seca. Quanto mais úmida for a superfície, menor será a penetração.

3.6.3 Ângulo de incidência local

Quanto menor o ângulo de incidência, mais rugosa tende a parecer a superfície, aumentando o retorno, bem como maior a penetração na superfície.

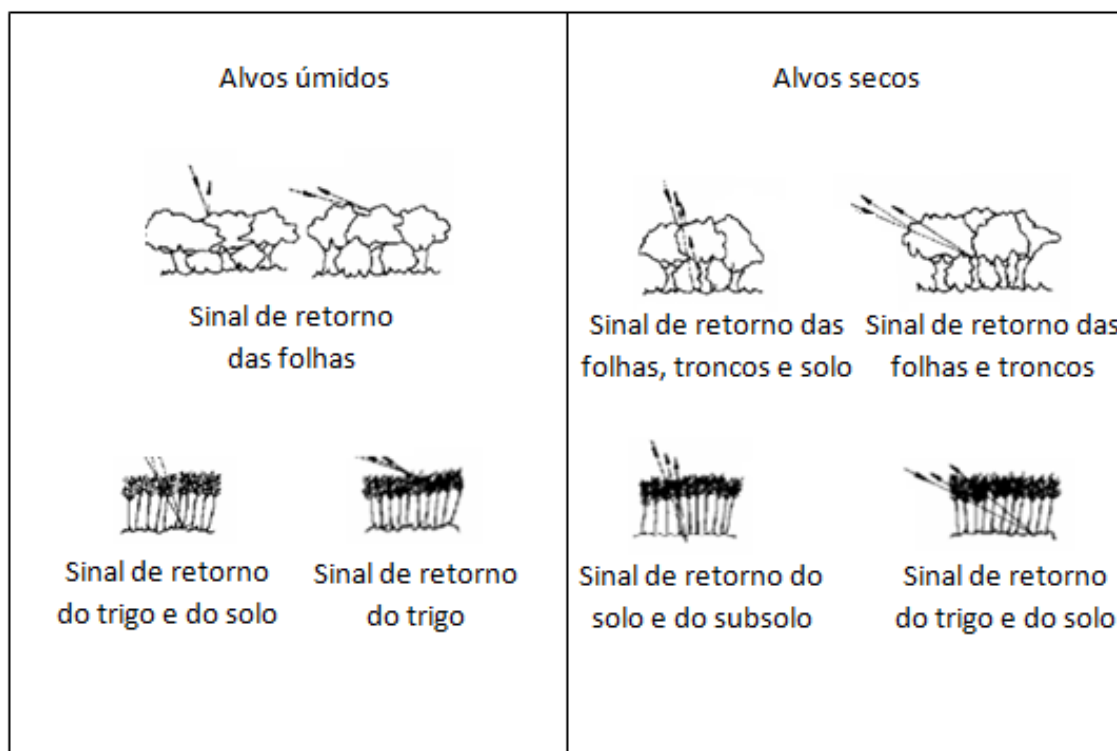


Figura 19 – penetração em função do comprimento de onda, umidade e ângulo de incidência. Adaptado de www.dpi.inpe.br

3.6.4 Rugosidade



A rugosidade superficial de uma área refletora é determinada pelo comprimento de onda do radar. Em geral, uma superfície é considerada lisa se suas variações de rugosidade forem consideravelmente inferiores ao comprimento de onda do radar.

3.7 Distorções do relevo

Quando o pulso radar é direcionado para um objeto com dimensão vertical, encontra primeiro seu topo (mais próximo da antena) e depois sua base, podendo causar com isso dois tipos de efeitos na imagem: o encurtamento ou a inversão (Figura 20).

3.7.1 Encurtamento

O efeito de encurtamento de rampa atinge o máximo quando uma encosta íngreme é ortogonal ao feixe do radar. Neste caso, o ângulo de incidência local é zero e, como consequência, a base, a encosta e o topo da montanha são iluminados simultaneamente e, portanto, ocupam a mesma posição na imagem, provocando assim o encurtamento na imagem.

3.7.2 Inversão

Inversão de relevo (*layover*) ocorre quando a energia refletida pela parte superior de uma feição é recebida antes do retorno do sinal da parte inferior dessa mesma feição. Assim, o topo do alvo será deslocado ou “inclinado” em relação à sua base quando a imagem é processada.

Em geral, a inversão de relevo é mais predominante em geometrias de visada com ângulos de incidência menores, tais como os de satélites.

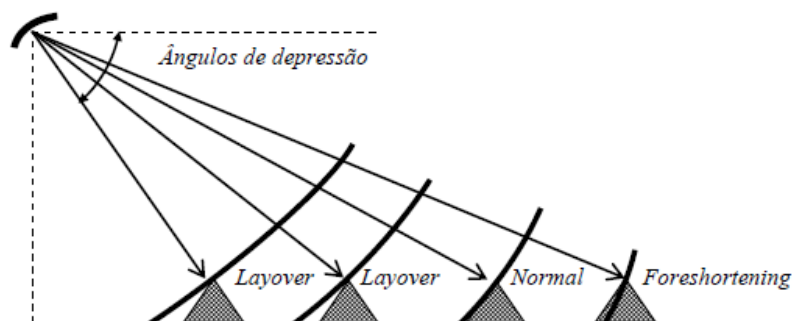


Figura 20 – distorções do relevo. Fonte – (MENESES et al., 2012).

3.8 Sombra radar



As sombras em imagens de radar indicam áreas na superfície do solo não iluminadas pelo radar. Como nenhum sinal de retorno é recebido pelo sensor, as sombras de radar exibem uma tonalidade muito escura na imagem.

O ângulo de incidência aumenta do alcance próximo (*near range*) para o alcance distante (*far range*), tornando a iluminação do terreno mais oblíqua. Como resultado, o sombreamento se torna mais proeminente na direção do alcance distante (*far range*).

3.9 Constante dielétrica (ϵ)

A constante dielétrica é uma medida das propriedades elétricas de um dado material. É proporcional à quantidade de água presente no material. O pulso radar refletido é proporcional à constante dielétrica. A constante dielétrica do solo seco está no intervalo de 3 a 8, com penetração de vários metros; a do solo úmido está em torno de 20, com penetração da ordem de centímetros e a da água é 80, virtualmente sem penetração. Quanto maior a constante dielétrica de um material maior o retroespalhamento. Assim, quanto maior o teor de água de um material, maior o sinal de retorno. Desta forma, a vegetação fotossinteticamente ativa apresenta tom de cinza claro nas imagens radar, da mesma forma que solos úmidos, havendo uma relação direta entre o conteúdo de água e o retroespalhamento (MENESES et al., 2012).

3.10 Ruído speckle

É um processo inerente ao sistema radar e reduz a qualidade da imagem. É um ruído multiplicativo que é proporcional a intensidade do sinal recebido. O efeito visual deste ruído proporciona uma textura granulosa, que pode dificultar a interpretação das imagens de radar

A Figura 21 mostra como as interferências locais, construtiva e destrutiva, aparecem na imagem com tonalidades claras e escuras, respectivamente.

Existem dois métodos para se diminuir o ruído *speckle*: o uso de filtros adaptativos e o processamento *multi-look* (MENESES et al., 2012).

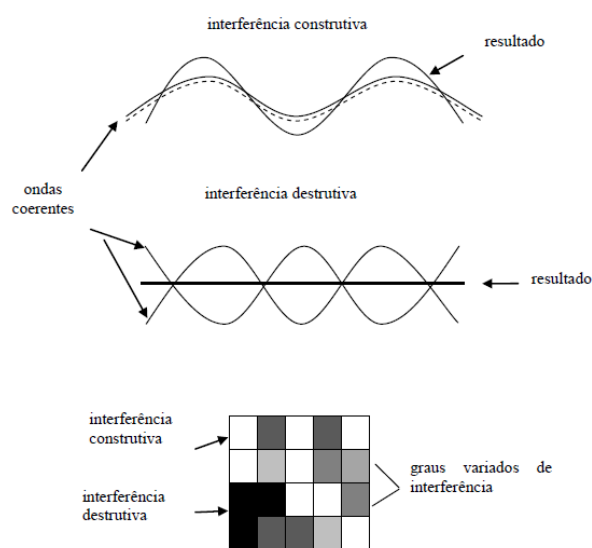


Figura 21 – Ruído Speckle, interferência construtiva e destrutiva inerente ao imageamento radar. Fonte – (MENESES et al., 2012).



4 INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS RADAR

Os princípios da fotointerpretação podem ser aplicados de imagens de radar, observando-se os elementos básicos de leitura em fotointerpretação: tonalidade, forma, padrão, textura, tamanho, sombra e adjacências.

Um alvo é um objeto no terreno de interesse específico na investigação em sensoriamento remoto.

4.1 Tonalidade

Em imagens radar, pode ser definida como a intensidade do sinal de retroespalhamento cada distinta intensidade de cinza (claro, médio e escuro), partindo do branco (retornos de alta intensidade), até o preto (retornos de sinal baixo). A intensidade do sinal de retroespalhamento varia de acordo com a rugosidade, propriedades dielétricas e inclinação local. Assim, o sinal de radar refere-se principalmente às propriedades geométricas do alvo, pois nestes comprimentos de onda o modelo ondulatório se aplica melhor que o modelo corpuscular (MENESES et al., 2012).

4.2 Forma

É a geometria espacial, ou mais simplesmente, o contorno do objeto, devendo ser considerada juntamente com o tamanho. Algumas feições (rodovias, pontes, aeroportos) podem ser distinguidas pela sua forma (Figura 22). Cabe ressaltar que a forma é vista pela iluminação oblíqua: distância oblíqua do alcance do radar.

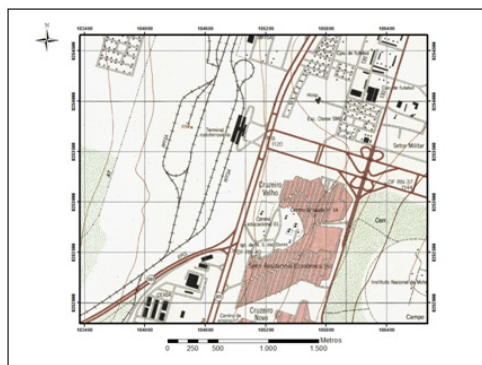


Figura 22 – Traçado característico de rodovias e ferrovias. Carta produzida pelo IBGE, 1:25.000, Brasília-NO. Folha SD.23-Y-C-IV-3-NO



4.3 Padrão

Arranjo espacial das feições ao longo de uma região com a configuração recorrente. Repetição, que pode ser regular, das formas com variações tonais na imagem, podendo ser obras feitas pelo homem ou feições naturais, p. ex.: padrões de drenagem, padrão das plantações, de construções, de relevo, etc.

4.4 Textura

Variação de tons numa área da imagem em função de objetos cujas dimensões não permitem que sejam distinguidos individualmente. Dá a impressão visual de rugosidade ou sua ausência.

4.5 Tamanho

São as dimensões do objeto visível na imagem. O tamanho de um objeto pode ser utilizado como um elemento de reconhecimento qualitativo em imagens de radar. O tamanho dos elementos conhecidos sobre as imagens fornece uma avaliação relativa da escala e as dimensões de outras características do terreno.

4.6 Sombra

Nas imagens de radar indicam áreas na superfície do solo não iluminadas, sem sinal de retorno recebido pelo sensor, e estão relacionadas com o ângulo de incidência oblíqua de radiação de micro-ondas emitida pelo sistema de radar e não com a geometria da iluminação solar.

4.7 Adjacências

Elementos associados ao objeto de estudo, nos quais um tende a indicar ou confirmar o outro, ou seja, uma correlação de aspectos associados.



5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Dados da imagem

As imagens utilizadas para a análise dos alvos foram coletadas SAR R-99, no dia 15 de março de 2005. Modo de imageamento Quad L: HH, HV, VH e VV. A resolução da imagem gerada no voo foi de 3 metros e número de looks igual a 8, ângulo de incidência variando de 40° a 70°, do *near* ao *far range* e largura das faixas igual a 10 km. Resolução radiométrica de 8 bits. As imagens foram registradas utilizando-se o sistema de coordenadas geográficas (lat/long) e o sistema geodésico WGS 84.

Foi realizada uma consulta ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisas (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e verificação dos dados relativos à precipitação do dia 10 de março de 2005 a 15 de março de 2005. Para a estação Brasília / DF (OMM – Organização Meteorológica Mundial: 83377), latitude: -15,78°, longitude: -47,92° e elevação: 1159.54 m. No período consultado não houve precipitação nos dias 10, 11, 13, 14 e 15. No dia 12 de março de 2005 houve precipitação de 7,4mm (www.inmet.gov.br).

5.2 Tratamento da imagem

O processamento dos dados brutos, ou seja, as informações colhidas pelo sensor, porém ainda não sendo possível de serem exibidos como imagem, além de dados referentes ao imageamento tais como a localização da plataforma e horário do imageamento, foi realizado pela Unidade Aérea (2º/6º GAV) utilizando-se o programa desenvolvido pelo fabricante do sensor: GSP - *Ground SAR Processor*.

As imagens, cedidas pelo Instituto de Geociências da UnB, já apresentavam correção do padrão da antena.

Criou-se um mosaico, utilizando o software ENVI 4.7, a partir de dois segmentos que compunham a cena.

Foi criada uma Região de Interesse (ROI) para cada ponte estudada, abrangendo o alvo e as adjacências, sendo exportada a ROI para arquivo vetorial do ENVI (EVF) e foram salvos os arquivos (LHH segmento 1 e 2, LHV segmento 1 e 2, LVH segmento 1 e 2 e LVV segmento 1 e 2) utilizando como *spatial subset* (subconjunto espacial) o EVF criado anteriormente para cada ponte.



Os arquivos salvos a partir dos respectivos *spatial subset* resultaram em imagens de 137x112 pixels para a ponte do Bragueto, 388x388 pixels para a ponte Presidente Costa e Silva, 393x396 pixels para a ponte das Garças, 907x650 pixels para a ponte JK e 388x393 pixels para a ponte da Estrada Parque Aeroporto. Isto permitiu uma análise comparativa e uma apresentação idêntica das diferentes polarizações e composições RGB de cada uma das pontes estudadas.

O ruído *Speckle* foi reduzido pela aplicação do filtro *Local Sigma*, por apresentar maior separabilidade das texturas sem suavização excessiva (DUTRA; MASCARENHAS, 1990).

Para as composições RGB foi selecionada a resolução (no software ENVI) 24-bit Color (BIP) por ser o interesse trabalhar com todas as bandas de uma área relativamente pequena (Meneses et al., 2012).

Segundo Villaça e Fernandes (2009), pelo princípio de reciprocidade, sendo o meio homogêneo, sem apresentar a rotação de Faraday, ou seja, em sistemas monoestáticos, com o meio entre o alvo e a antena receptora sendo recíproco, e com o sistema SAR calibrado, as imagens HV e VH são equivalentes. Imagens multipolarizadas aumentam as chances de discriminação dos materiais em função das variações de rugosidade da superfície (Meneses et al., 2012). Assim, das 24 combinações possíveis de composição RGB, foram selecionadas 12: R-HH, G-HV, B-VH; R-HH, G-HV, B-VV; R-HH, G-VV, B-HV; R-HV, G-HH, B-VH; R-HV, G-HH, B-VV; R-HV, G-VH, B-HH; R-HV, G-VH, B-VV; R-HV, G-VV, B-HH; R-HV, G-VV, B-VH; R-VV, G-HH, B-HV; R-VV, G-VH, B-HH; R-VV, G-VH, B-HV.

Para que seja feita uma composição colorida deve-se, primeiramente selecionar um tripleto de bandas e então, considerando que a percepção da visão humana é maior para as cores vermelha e verde do que para o azul, a cor verde ou vermelha deve ser associada à banda de maior contraste (maior variância) e à banda de menor variância deve ser associada a cor azul (Meneses et al., 2012). A polarização HH foi a que apresentou maior contraste (maior variância).

As composições foram, exportadas para o *software* ArcGis e salvas no formato jpeg.

Foram criadas ROI a partir de áreas dos alvos e os valores digitais exportados para ASCII, e no Software Microsoft Office Excel 2007 foram obtidas as médias destes valores para cada uma das polarizações da composição RGB (LHH, LVH e LVV), assim como os desvios padrão. A partir destes dados foram obtidos os valores



mínimos e máximos dos valores digitais referentes a cada polarização de cada ponte e gerado um gráfico comparativo dos resultados obtidos para cada polarização entre as pontes estudadas.

Foram realizadas medições na carta 1:25.000, Brasília-NO. Folha SD.23-Y-C-IV-3-NO, impressa em 1984, aerolevantamento realizado pela embrafoto no ano de 1982, a fim de se obter os comprimentos das pontes estudadas. À exceção da ponte JK, cujo comprimento foi obtido por meio de consulta ao site da Universidade de Brasília.

Para a interpretação das imagens SAR foram empregados os conhecimentos dos elementos básicos de fotointerpretação, atentando para as particularidades da imagem radar, principalmente no que se refere à sombra, que, de maneira distinta dos sensores que operam na faixa do visível, não tem correlação com a iluminação solar.

A Figura 23 apresenta a sequência de procedimentos realizados neste trabalho

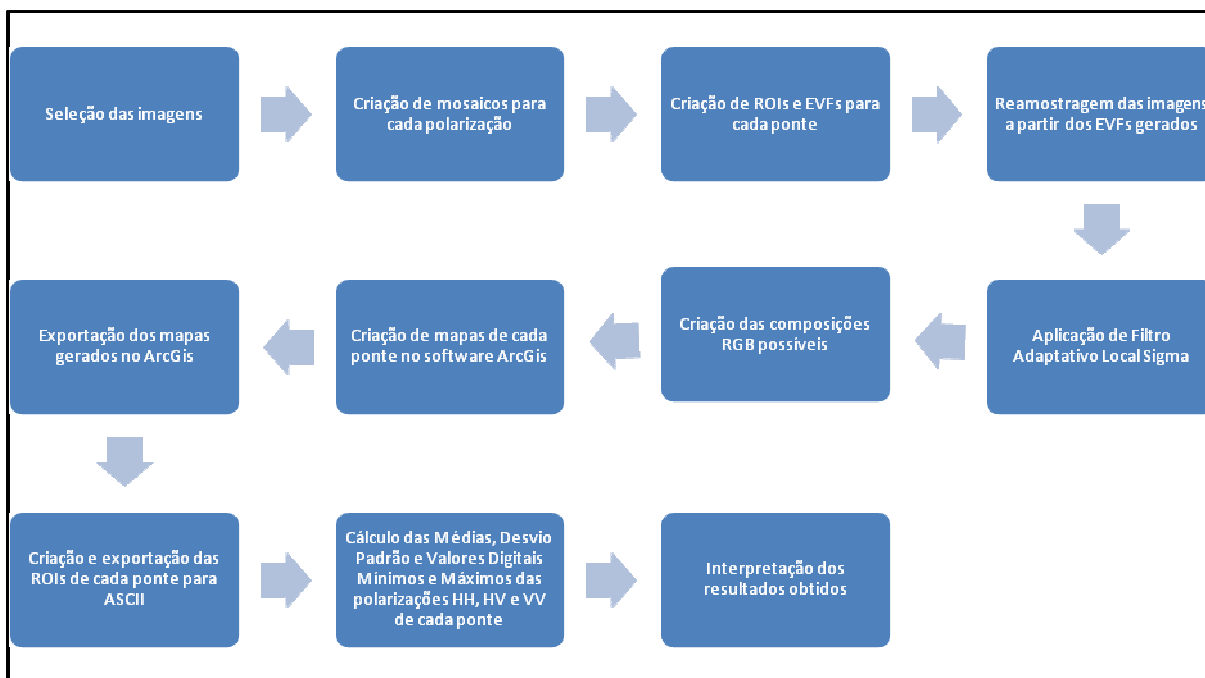


Figura 23 – Fluxograma dos métodos aplicados



6 RESULTADOS

6.1 Identificação dos elementos geométricos e de classificação das pontes do Lago Paranoá

Para cada ponte estão apresentadas, neste trabalho, as imagens nas polarizações HH, HV, VV e a composição RGB – HH, HV e VV, respectivamente.

Na Figura 24-a da Ponte Juscelino Kubitschek na banda L e polarização HH é observado um alto retroespalhamento nas áreas correspondentes aos três arcos metálicos, juntamente com os estais, também metálicos, sendo possível observar a inclinação de cada um dos arcos em relação ao eixo longitudinal da ponte.

Ainda nesta polarização, é observado um forte sinal de retorno nos trechos da ponte compreendidos entre as cabeceiras e os extremos dos arcos metálicos, correspondentes à localização dos postes de iluminação.

Tal como observado na interpretação das imagens da Ponte Juscelino Kubitschek, na Figura 26-a da Ponte Presidente Costa e Silva, observa-se na polarização HH, um forte sinal de retorno correspondente aos postes de iluminação que estão localizados na lateral oeste da ponte. O mesmo ocorre na Figura 28-a da Ponte das Garças e na Figura 30-a da Ponte do Bragueto, sendo que nestas duas últimas podem ser identificados os postes localizados no centro, entre as pistas de rolamento.

Quanto à polarização cruzada VH, a Figura 24-b da Ponte JK, apresenta menor variância que a polarização HH, destacando estruturas irregulares com menor contraste, apresentando, também, retroespalhamento correspondente aos postes de iluminação, ainda que o sinal de retorno aqui seja menor que na polarização HH. Esta menor variância também ocorre nas pontes Presidente Costa e Silva, das Graças e Bragueto.

As Figuras 24-c, 26-c, 28-c e 30-c, correspondentes à polarização VV, apresentam para o corpo d'água do Lago Paranoá, conforme esperado, uma textura maior que a observada nas polarizações HH e HV. Esta polarização apresentou maior retroespalhamento para as estruturas verticais que a polarização HV.

Nas imagens 24-d, 26-d, 28-d e 30-d, composição polarimétrica RGB – HH, HV, VV a cor vermelha foi associada à polarização HH, por ser esta a polarização que apresentou maior variância. Nestas composições são observados em vermelho o forte retorno das estruturas verticais: postes de iluminação e elementos geométricos horizontais transversais.



Com relação aos elementos de classificação, o comprimento da ponte JK, medido por meio da ferramenta *measurement tool* do *software* ENVI, foi de 1224m, enquanto a medida real é 1200m, (www.unb.br).

Os comprimentos das pontes Presidente Costa e Silva, das Garças e da ponte localizada na estrada Parque Aeroporto foram obtidos na carta 1:25.000, Brasília-NO. Folha SD.23-Y-C-IV-3-NO, impressa em 1984, aerolevante embrafoto de 1082. O comprimento da ponte Presidente Costa e Silva obtido na carta foi de 464m e na imagem SAR 458m. O comprimento da ponte das Garças obtido na carta foi de 323m e na imagem SAR 305m. O comprimento da ponte localizada na estrada Parque Aeroporto obtido na carta foi de 32m e na imagem SAR 34m. O comprimento da ponte Presidente do Brageto, obtido na carta 1:25.000, Brasília-SO. Folha SD.23-Y-C-IV-1-SO, foi de 181m e na imagem SAR 175m.

As medições das pontes do lago Paranoá feitas por meio da ferramenta *measurement tool* do *software* ENVI 4.7, apresentaram um desvio médio de 4,11% em relação às medidas obtidas na carta 1:25.000.

A natureza do tráfego pode ser inferida por meio dos elementos de fotointerpretação, principalmente as formas das vias de acesso. Enquanto as ferrovias apresentam curvas suaves, as rodovias apresentam curvas mais fechadas, podem ser identificados, ainda, na Figura 22 os entroncamentos característicos de uma rodovia e de uma ferrovia. Assim, pode-se inferir o tipo de tráfego existente nas pontes pelas adjacências, ou seja, pelas vias que chegam a elas, sendo o tráfego rodoviário em todas as pontes do lago Paranoá.

Quanto ao desenvolvimento planimétrico, verifica-se que a ponte JK é curva e as demais pontes apresentadas neste trabalho são retas.

A resolução espacial das imagens não permitiu identificar os elementos geométricos horizontais longitudinais (vãos) e transversais (defensas, passeios e guardacorpo). Também não foi possível identificar os seguintes elementos de classificação: desenvolvimento altimétrico, sistema estrutural, posição do tabuleiro, mobilidade do tramo e tipo de secção.

Quanto aos elementos geométricos verticais, não foi possível determinar a altura da ponte, nem tampouco o gabarito (altura livre).

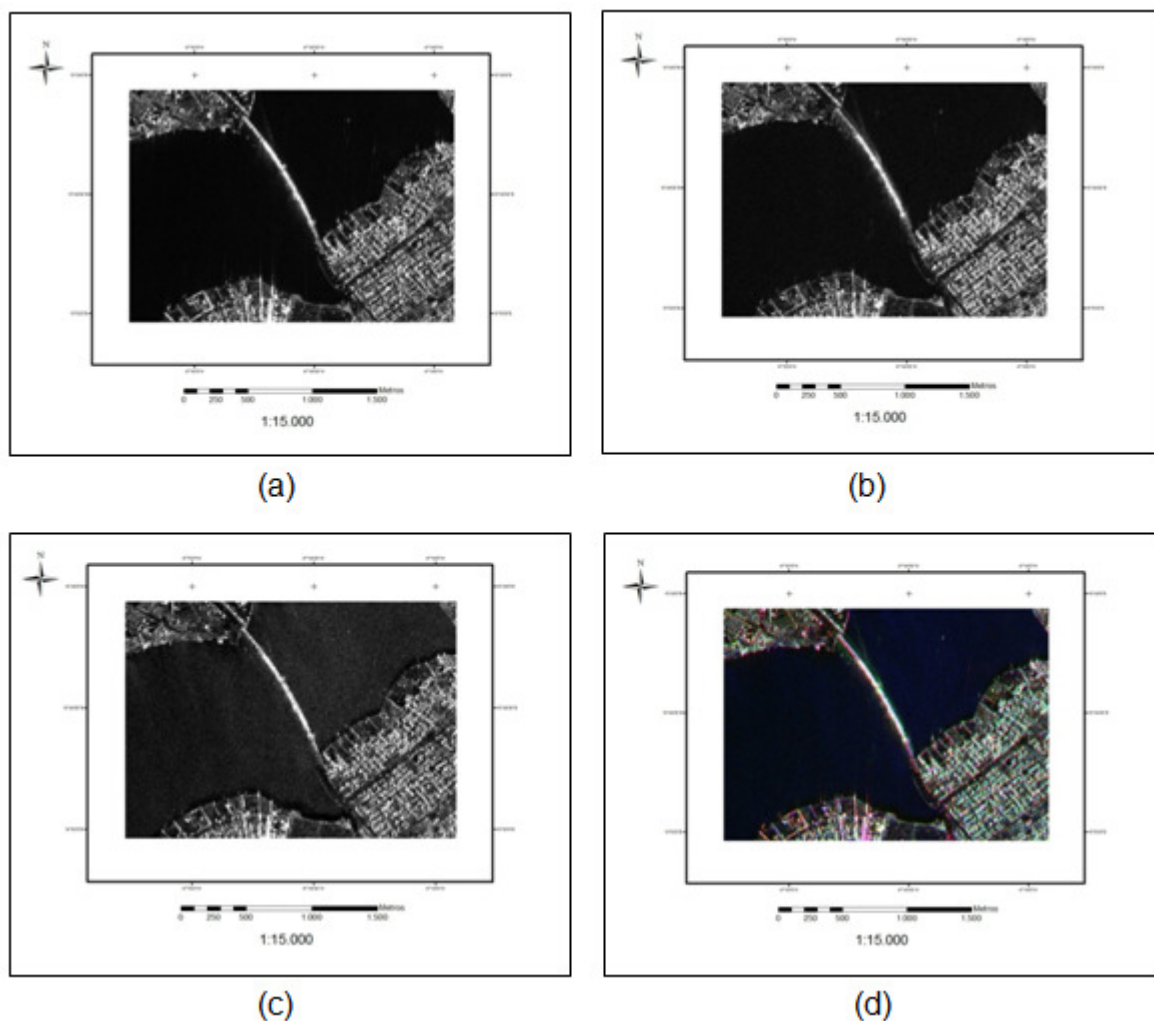


Figura 24 - Ponte JK: a (LHH), b (LHV), c (LVV) e d é uma composição de polarizações da banda L, R-HH, G-HV e B-VV.



Figura 25 - Ponte JK



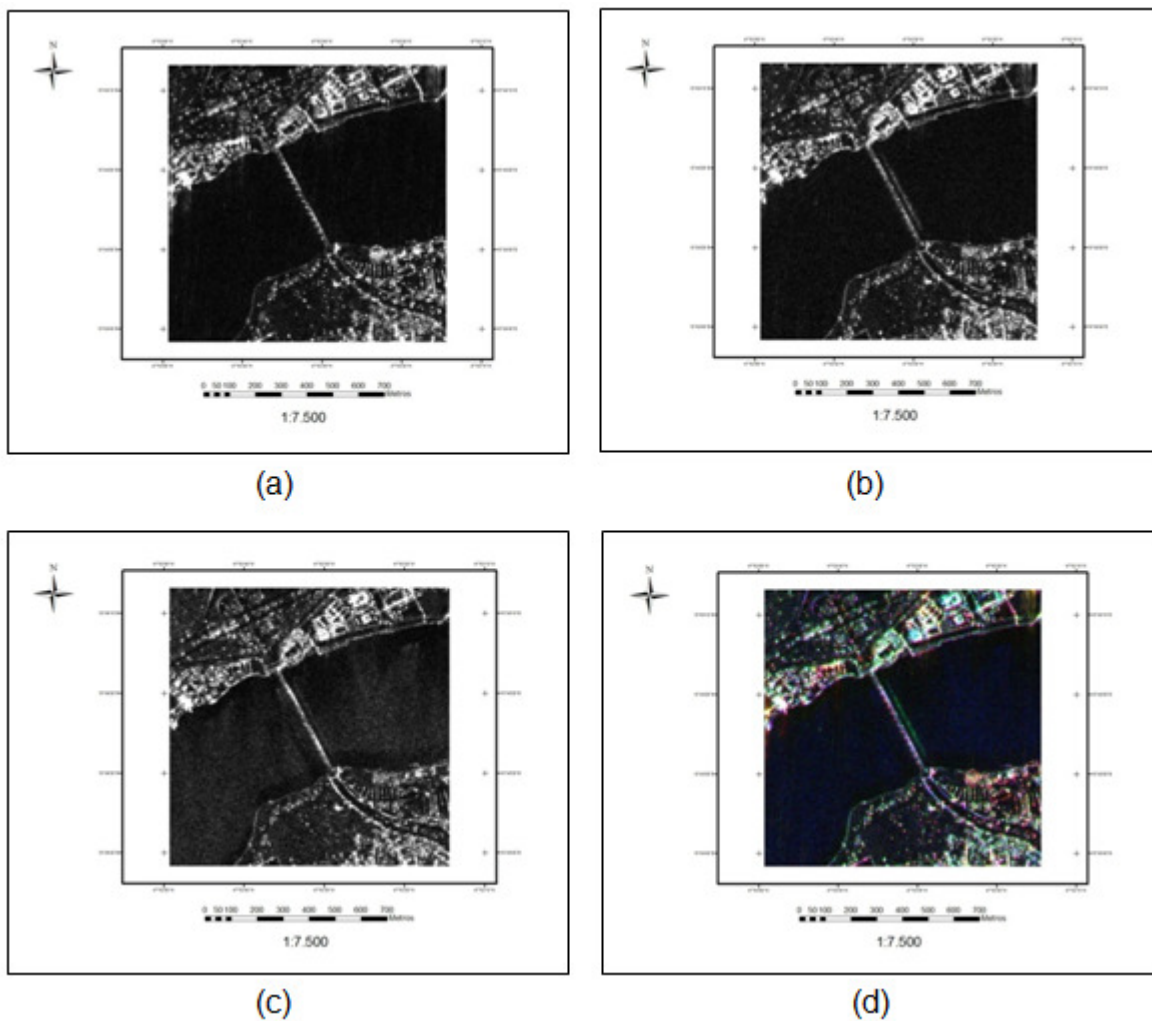


Figura 26 - Ponte Costa e Silva: a (LHH), b (LHV), c (LVV) e d é uma composição de polarizações da banda L, R-HH, G-HV e B-VV.



Figura 27 - Ponte Costa e Silva

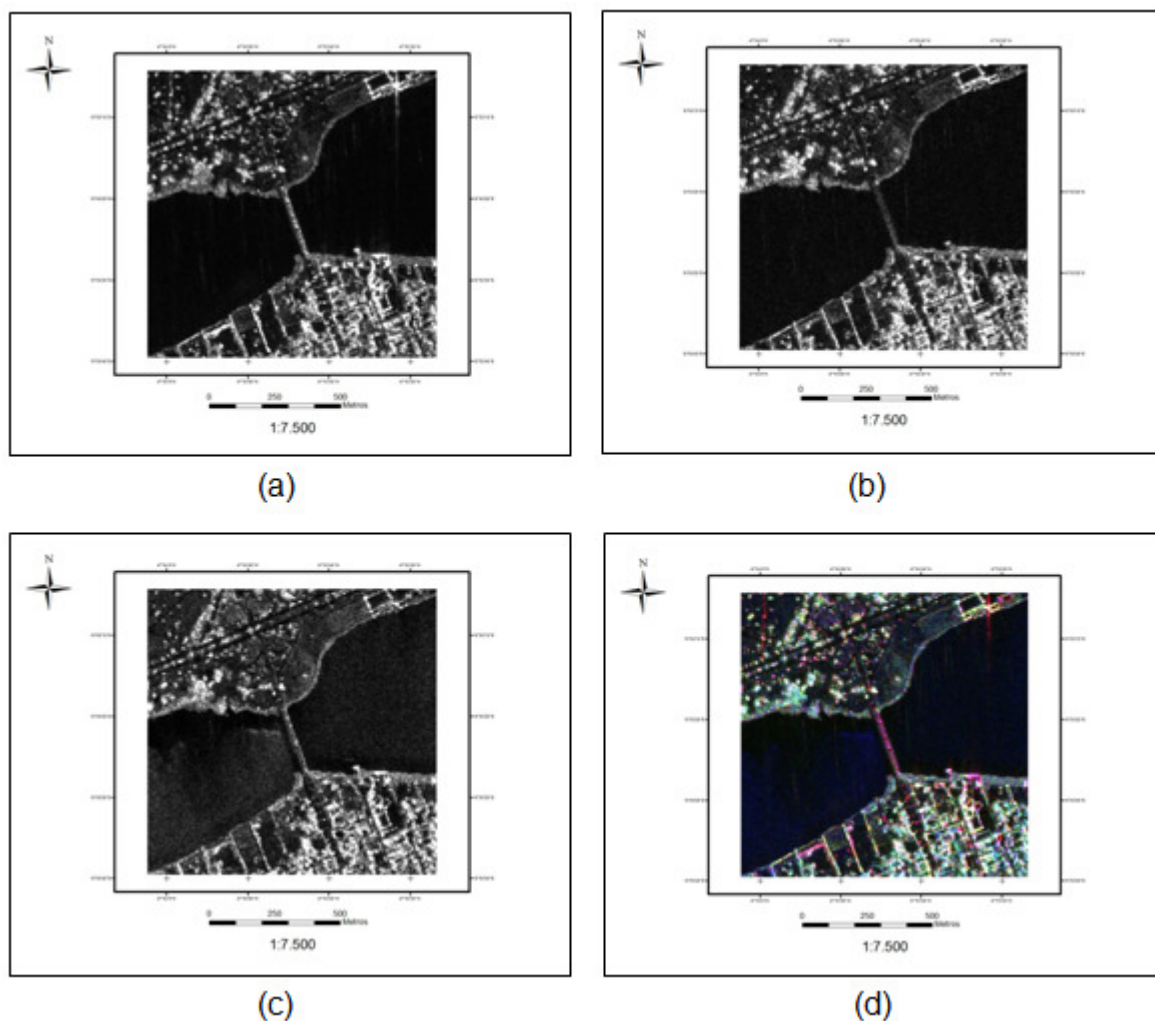


Figura 28 - Ponte das Garças: a (LHH), b (LHV), c (LVV) e d é uma composição de polarizações da banda L, R-HH, G-HV e B-VV.



Figura 29 - Ponte das Garças

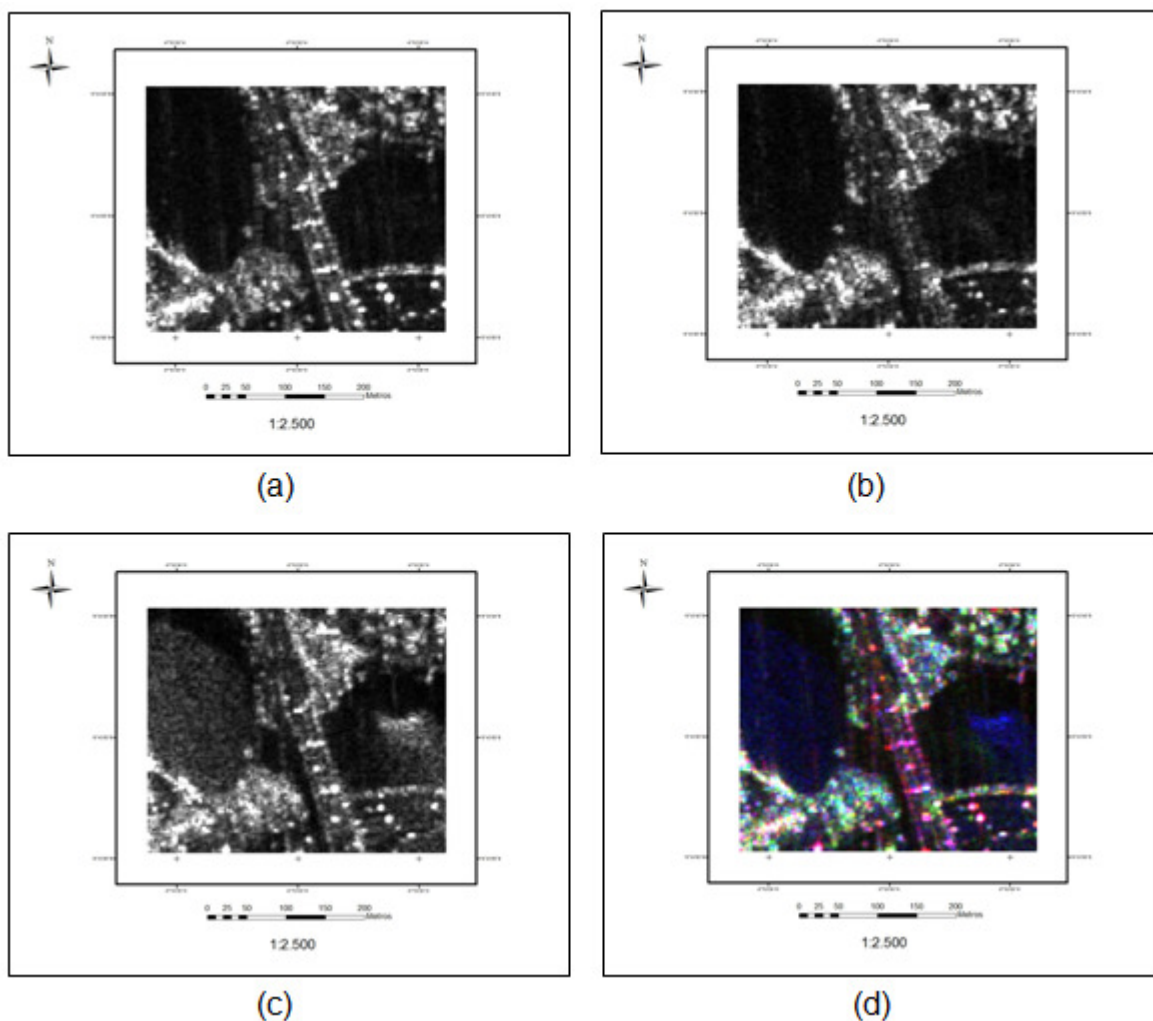


Figura 30 - Ponte do Bragueto: a (LHH), b (LHV), c (LVV) e d é uma composição de polarizações da banda L, R-HH, G-HV e B-VV.



Figura 31 - Ponte do Bragueto

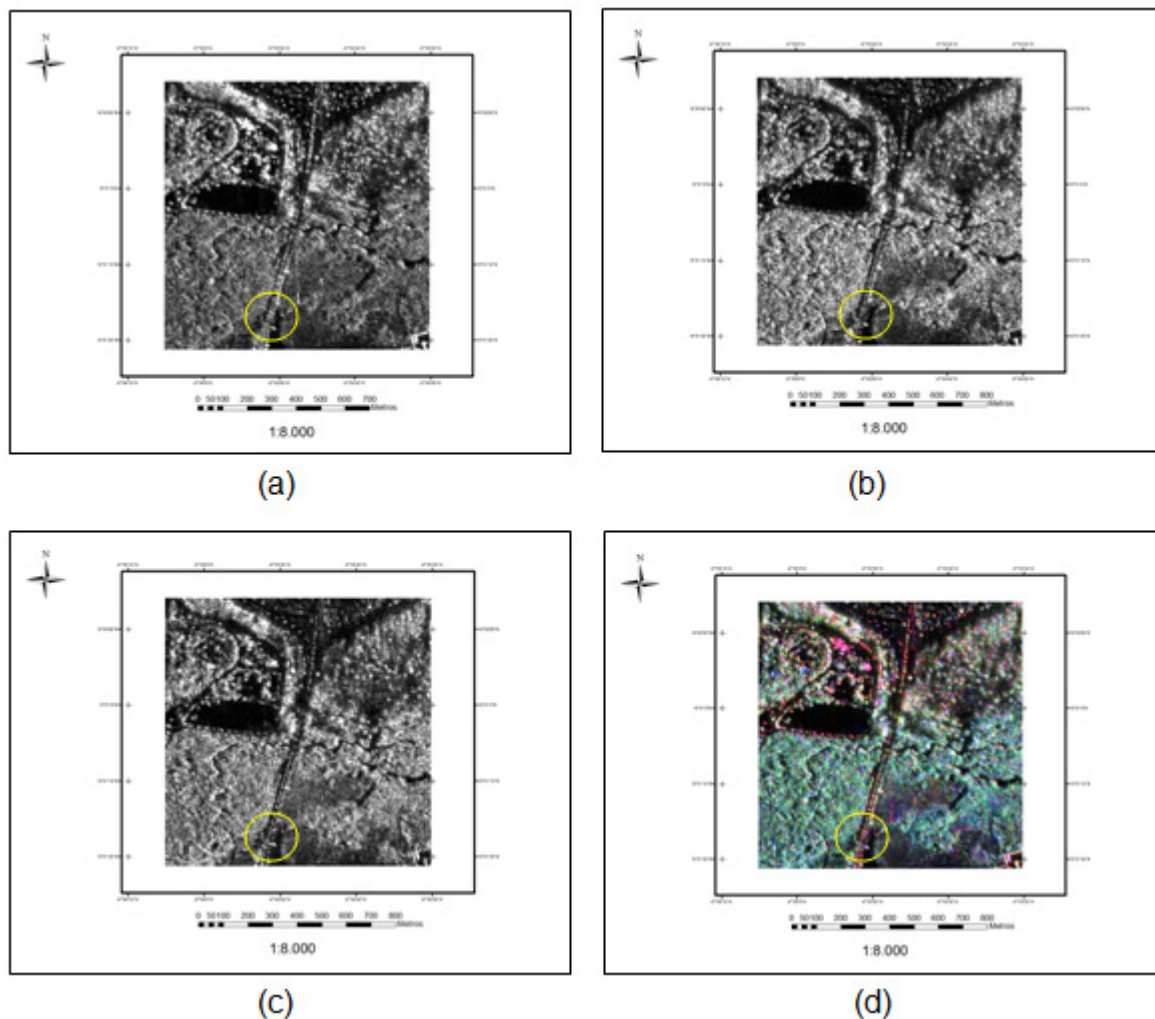


Figura 32 - Ponte na Estrada Parque Aeroporto: a (LHH), b (LHV), c (LVV) e d é uma composição de polarizações da banda L, R-HH, G-HV e B-VV.



Figura 33 - Ponte na Estrada Parque Aeroporto



A tabela 2 apresenta os resultados da identificação dos elementos geométricos e os de classificação nas quatro polarizações e na composição RGB das cinco pontes estudadas

Tabela 2 - Identificação dos parâmetros das pontes analisadas

		Polarização HH	Polarização HV	Polarização VH	Polarização VV	Composição RGB HH HV VV
Elementos geométricos horizontais longitudinais	Vãos	–	–	–	–	–
Elementos geométricos horizontais transversais	Pista de rolamento	–	–	–	–	–
	Acostamento	–	–	–	–	–
	Defensas	–	–	–	–	–
	Passeios	–	–	–	–	–
	Guarda corpo	–	–	–	–	–
Elementos geométricos verticais	Altura de construção	–	–	–	–	–
	Altura livre (gabarito)	–	–	–	–	–
Elementos de classificação	Comprimento	X	X	X	X	X
	Natureza do tráfego	X	X	X	X	X
	Material	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹
	Desenvolvimento planimétrico	X	X	X	X	X
	Desenvolvimento altimétrico	–	–	–	–	–
	Sistema estrutural	–	–	–	–	–
	Posição do tabuleiro	–	–	–	–	–
	Mobilidade do tramo	–	–	–	–	–
	Tipo de secção	–	–	–	–	–



X¹ – Apesar de ser observada a existência de diferentes materiais não é possível fazer a identificação dos mesmos.

6.2 Valores digitais das pontes do Lago Paranoá

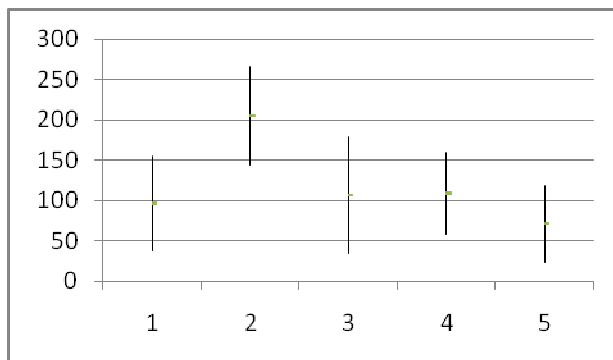


Figura 34 - Valores digitais mínimos, máximos e médios na polarização HH: 1-Ponte do Bragueto, 2 – Ponte Juscelino Kubitschek, 3 – Ponte Presidente Costa e Silva, 4 – Ponte das Garças e 5 – Ponte na Estrada Parque Aeroporto.

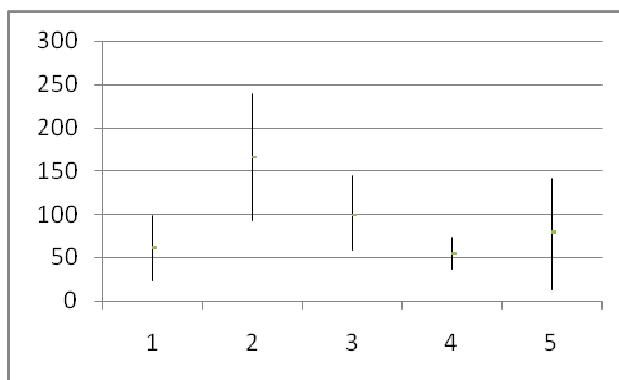


Figura 35 - Valores digitais mínimos, máximos e médios na polarização HV: 1-Ponte do Bragueto, 2 – Ponte Juscelino Kubitschek, 3 – Ponte Presidente Costa e Silva, 4 – Ponte das Garças e 5 – ponte na Estrada Parque Aeroporto.

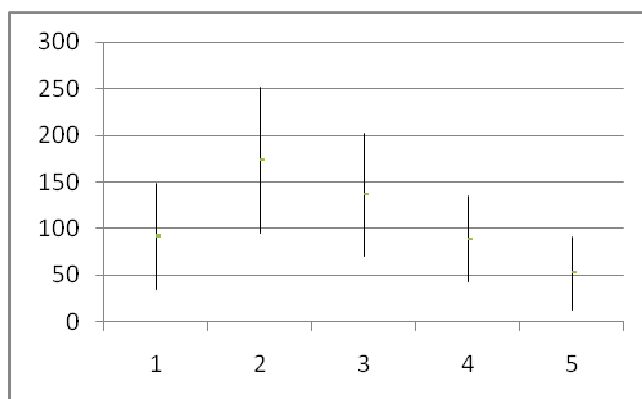




Figura 36 - Valores digitais mínimos, máximos e médios na polarização VV: 1-Ponte do Bragueto, 2 – Ponte Juscelino Kubitschek, 3 – Ponte Presidente Costa e Silva, 4 – Ponte das Garças e 5 – ponte na Estrada Parque Aeroporto.

A Figura 34 apresenta os valores digitais mínimos, máximos e médios na polarização HH, referentes às cinco pontes aqui estudadas. Observa-se neste gráfico a sobreposição de valores, com exceção daqueles referentes à ponte Juscelino Kubitschek e os da ponte na Estrada Parque Aeroporto. Não sendo, portanto, possível distinguir as diferentes pontes a partir dos valores digitais de cada uma.

Este mesma análise, com relação à polarização HV exibida na Figura 35, apresenta dissociação de valores digitais somente entre as pontes Juscelino Kubitschek e a ponte das Garças.

A Figura 36, referente à polarização VV, exhibe sobreposição entre valores exibidos pelas cinco pontes, exceto, como na polarização HH, pelos valores referentes à ponte Juscelino Kubitschek e à ponte na Estrada Parque Aeroporto, que não apresentam nenhum valor digital em comum.



7. DISCUSSÃO

Em alvos bidimensionais o espalhamento ocorre a partir da superfície, com pouca ou nenhuma penetração. O retroespalhamento do sinal é função da constante dielétrica (umidade) e rugosidade da superfície. Para os alvos estudados observou-se maior retroespalhamento na polarização VV.

Nas áreas urbanas ocorreu forte retroespalhamento, que aparece como pontos muito brilhantes nas imagens de radar, e está associado à presença de refletores de canto, que são um caso particular de reflexão difusa, onde os alvos perpendiculares à radiação incidente refletem quase que toda a radiação incidente de volta para a antena. O efeito de refletor de canto é mais intenso na polarização HH do SAR R-99. Urquia e Ferreira (2006) observaram esta resposta na análise da imagem SAR, banda L, do aeroporto de Brasília. A reflexão de canto apesar de facilitar a detecção, dificulta a identificação dos limites dos alvos.

Nas pontes analisadas identifica-se um alto retroespalhamento na polarização HH devido ao efeito de refletor de canto entre o tabuleiro e as defensas e guardacorpos aí localizados. Pela mesma razão foi detectado, também, forte retroespalhamento relacionado à presença de postes de iluminação.

Foi observado um alto retorno formando uma faixa linear paralela a leste da ponte Presidente Costa e Silva na polarização HV coincidente com o limite da área do lago que apresenta maior rugosidade na polarização VV e sem correspondente na polarização HH, havendo a necessidade de mais estudos para explicar este fenômeno. Na imagem da ponte Juscelino Kubitschek, polarização HV, aparece uma faixa semelhante, porém contígua a ponte. Nas imagens das pontes do Bragueto e das Garças tal fenômeno não é observado. Na imagem da ponte da Estrada Parque Aeroporto não foi possível detectar esta ocorrência em função das reduzidas dimensões desta ponte.

A existência de estruturas metálicas na ponte Juscelino Kubitschek (arcos e estais) contribui consideravelmente para o forte retroespalhamento, sendo menos



acentuado na polarização VV. Este alto retorno do sinal é explicado pela maior constante dielétrica dos materiais destas estruturas.

Além da constante dielétrica, este alto retorno de sinal pode ser explicado pelo espalhamento volumétrico na área correspondente aos arcos e estais.

O material pode, em uma imagem radar, ser inferido em função da constante dielétrica, já que a intensidade do pulso refletido é diretamente proporcional à constante dielétrica, porém, considerando a resolução espacial de 3m selecionada na aquisição dos dados desta imagem e as dimensões transversais da ponte, além de amostra de materiais distintos dentro de uma mesma célula de resolução espacial no terreno, tem-se uma limitação para identificar o tipo de material usado na construção. A constante dielétrica dos diferentes materiais das pistas de rolagem e passeios contribui para as diferentes intensidades de retornos de cada um destes elementos do passado. Devido à existência, no lago Paranoá, de unicamente pontes cujo tabuleiro é em concreto e asfalto, faz-se necessário o estudo de pontes construídas com outros materiais.

Não foi possível a identificação dos elementos geométricos horizontais transversais longitudinais (pista de rolamento, acostamento e passeios)

A dificuldade de detecção de elementos geométricos longitudinais (vãos), associada à resolução espacial do sensor SAR R-99, implica na impossibilidade de classificação do objeto estudado, se ponte ou passagem sobre aterro.

Não é possível, na banda L, a mensuração de elementos geométricos verticais, sendo sugerido para tal a realização de novas pesquisas utilizando-se o modo interferométrico da banda X.

A banda L do SAR R-99 é passível de ser utilizada para, a partir das imagens geradas obterem-se as medidas de comprimento de pontes, além de ser possível identificar a natureza do tráfego a partir dos elementos básicos de fotointerpretação: forma e adjacências.

A ocorrência de precipitação de 7,4 mm, três dias antes da coleta das imagens pelo SAR R-99, não contribuiu para o aumento da umidade da superfície e



consequente aumento da constante dielétrica dos alvos. Imageamento radar realizado imediatamente após a ocorrência de chuva no alvo pode apresentar resultados diversos dos mostrados neste trabalho.

É possível, em imagens geradas pelo SAR R-99, a identificação do desenvolvimento planimétrico de uma ponte a partir de sua forma.



8 CONCLUSÃO

A existência de uma ponte a partir da intersecção de uma rodovia ou ferrovia com uma massa d'água em uma imagem radar é de fácil identificação, sendo os elementos básicos de fotointerpretação aplicáveis às imagens radar, adaptando-se estas técnicas a este tipo de imagem, considerando-se suas características distintas das imagens de sensores que operam na porção do espectro visível e infravermelho.

Considerando-se a vantagem deste tipo de sensor em se obter informações do alvo a despeito das condições atmosféricas, é uma escolha adequada para o mapeamento da região amazônica, onde a cobertura de nuvens é fator limitante na maior parte do ano para o imageamento a partir de sensores ópticos.

As diferentes polarizações do SAR R-99 permitem a obtenção de informações do alvo analisando cada uma delas isoladamente ou a partir de composições RGB.

As diferentes pontes estudadas apresentaram valores digitais em comum. Além disto, o tabuleiro de uma ponte é normalmente constituído de asfalto ou concreto, ou seja, similar à superfície de rodovias. Por estas razões, é inviável a classificação automática para a identificação de pontes em imagens radar, não apresentando vantagens em relação à interpretação visual.

A polarização HH mostrou-se a mais adequada para a identificação da existência de elementos verticais, enquanto a polarização HV exibe melhor o contorno das pontes.

A polarização VV foi a que apresentou maiores retornos de sinais para o corpo d'água do lago Paranoá (rugosidade devida à ocorrência de ondas).

A composição RGB mais adequada foi R-HH, G-HV E B-VV. Por ser a polarização HH a que apresentou maior contraste, a ela foi sido atribuída a cor vermelha. O retroespalhamento aleatório na polarização HV, comum à vegetação, e os maiores sinais de retorno para a água na polarização VV, fazem com que a composição R-HH, G-HV E B-VV mostre-se ao intérprete, semelhante às cores observadas pelo olho humano.



A limitação referente à identificação dos elementos geométricos de uma ponte, a partir de imagens geradas pelo SAR R-99 leva à necessidade de complementação de informações a partir de reambulação, a fim de que sejam evitados erros de representação cartográfica.



9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANTAS, A. G. M. de F. **O Sistema Viário de Brasília e os Problemas da Integração de um Novo Bairro na Cidade: o Ecovila Setor Noroeste.** Revista Geográfica de América Central. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica. II Semestre 2011. pp. 1-15.

DUTRA, L. V.; MASCARENHAS, N. D, A. **Realce de texturas em imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) por filtros de redução de 'speckle'.** Anais VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Manaus, Brasil, 24-29 de junho de 1990, INPE, 1990. p. 173-180.

FONSECA, R. P. **A ponte de Oscar Niemeyer em Brasília: Construção, Forma e Função Estrutural.** 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

FREITAS, M. **Pontes: Introdução Geral – Definições.** São Paulo. Editora Édile Serviços Gráficos e Editora Ltda. 1981. 114 p.

MARTINS, E. S.. **Petrografia, Mineralogia e Geomorfologia de Rególitos Lateríticos no Distrito Federal,** Brasília. [S.N.]. 2000. 218 p.

MASON, J. **Pontes em Concreto Armado e Protendido: princípios do Projeto e Cálculo.** Rio de Janeiro. Editora Livros Técnicos e Científicos. 1977. 320 p.

MENESES, P. A.; ALMEIDA, T. de; ROSA, A. N. S.; SANO, E. E.; SOUZA, Edilson B. de; BAPTISTA, G. M. de M.; BRITES, R. S. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** [S.I.]. [S.N.]. 2012. 270 p.

NOVO, E. M. L. de M.. **Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações.** 2 ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher LTDA. 1995. 308 p.



PFEIL, W. **Pontes Curso Básico. Projeto, Construção e Manutenção.** Rio de Janeiro. Editora Campus Ltda. 1983. 280 p.

URQUIA, A. S.; FERREIRA, M. A. M.: **Identificação de alvos em imagens SAR com base na análise das polarizações da banda L para a geração de produtos de inteligência de imagens.** 2006. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília

VILLAÇA, D. F.; FERNANDES, D. **A resposta polarimétrica na classificação de imagens SAR.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7513-7519.

Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt.php?&mRelEstacao=83377&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=10/03/2005&mRelDtFim=15/03/2005&mAtributos=,,,,,,,,,1> Acesso em: 4 dez. 2012.

Brasil Escola – Espectro eletromagnético dos elementos químicos. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/quimica/espectro-eletromagnetico-dos-elementos-quimicos.htm>> Acesso em: 5 dez. 2012

European Space Agency – Radar Courses - Radar Image Interpretation. Disponível em <http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Course>
<http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/radar_image_interpretation.htm> Acesso em 12 set. 2012.



Food and Agriculture Organizations of the United Nations. Sensor Systems. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/003/T0355E/T0355E04.htm>>. Acesso em 5 dez. 2012.

Fotolog, Inc. Fotolog ® et Flodo. Recife pra sempre. Disponível em: <[http:// www.fotolog.com/recife_prasempre/28014047/&docid=Z9Rpr5ZW7yd2CM&imgurl=http://sp6.fotolog.com/photo/6/4/24/recife_prasempre/1211544916_f.jpg&w=500&h=375&ei=3jK3UIOCM9TC0AGk7ICwDQ&zoom=1&iact=hc&vpx=373&vpy=146&dur=1217&hovh=194&hovw=259&tx=145&ty=147&sig=113185463162188357590&page=1&tbnh=144&tbnw=180&start=0&ndsp=13&ved=1t:429,r:2,s:0,i:90](http://www.fotolog.com/recife_prasempre/28014047/&docid=Z9Rpr5ZW7yd2CM&imgurl=http://sp6.fotolog.com/photo/6/4/24/recife_prasempre/1211544916_f.jpg&w=500&h=375&ei=3jK3UIOCM9TC0AGk7ICwDQ&zoom=1&iact=hc&vpx=373&vpy=146&dur=1217&hovh=194&hovw=259&tx=145&ty=147&sig=113185463162188357590&page=1&tbnh=144&tbnw=180&start=0&ndsp=13&ved=1t:429,r:2,s:0,i:90)> Acesso em: 15 out. 2012.

Filme Rio - Rio Film Commission (FRRFC). . Disponível em<<http://www.riofilmcommission.rj.gov.br/locacao/ponte-rio-niteroi>>. Acesso em: 15 out. 2012.

Galeria de imagens do Correio brasiliense. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/galeria-de-fotos/2011/05/21/interna_galeria_fotos,1986/confira-imagens-de-como-era-o-cerrado-onde-hoje-e-brasilia.shtml>. Acesso em: 18 nov. 2012.

GDF Secretaria de Fazenda do Distrito Federal. Disponível em http://www.fazenda.df.gov.br/aplicacoes/noticias/noticias_detalhe.cfm?co_seq_notici



as_detalle.cfm?co_seq_noticia=1105&id_area=641>. Acesso em: 30 ago. 2012.

Introduction to RADAR Remote Sensing. Disponível em<http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/gsarcd/pdf/bas_intro_e.pdf>. Acesso em 5 dez. 2012.

Prefeitura Municipal de São Vicente. Conheça São Vicente. Disponível em <<http://www.saovicente.sp.gov.br/galerias/visualizargaleria.asp?ID=15>>. Acesso em: 15 out. 2012.

Micro-ondas em síntese orgânica. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000400022>. Acesso em 5 dez. 2012.

Prefeitura Municipal de Timbó – Notícias . Disponível em<<http://www.timbo.sc.gov.br/noticia/3213/cedrinho-vai-ganhar-nova-ponte-pensil/>> Acesso em: 5 dez. 2012

Projeto Cartografia da Amazônia. Disponível em <http://www.sipam.gov.br/dmdocuments/cartografia_versao_final.pdf>. Acesso em 20 jul. 2012.

SPRING: Tutorial de Geoprocessamento - Teoria : Sistemas de Radar Princípios Físicos. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/radar/radar.html>>. Acesso em 5 dez. 2012.



Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/radar.html>>. Acesso em 5 dez. 2012.

UnB Agência. Disponível em < <http://www.unb.br/noticias/unbagencia/cpmod.php?id=82807>>. Acesso em: 15 out. 2012.

UNICAMP – Novidades de C&T&I do Laboratório de Química do Estado Sólido. Disponível em < http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2008/lqes_news_novidades_1108.html>. Acesso em: 15 out. 2012.